

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ МОНТАЖЕ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Профессор, доктор техн. наук **Г.А. Уставич**, аспирант **В.Г. Сальников**,
кандидат техн. наук **Н.М. Рябова**

Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск

E-mail: salnikov_valera@mail.ru; ryabovanadezhda@mail.ru

Аннотация. Турбоагрегат — установка, предназначенная для производства электроэнергии. В последнее время в России начали широко применяться парогазовые установки (ПГУ). Отличительной особенностью этого оборудования является одновальная компоновка, где газовая и паровая турбины, а также общий генератор расположены на одном валу. Такое расположение оборудования требует обеспечения монтажа отдельных частей с ошибкой 0,05–0,10 мм. Поэтому для монтажа основных узлов парогазовой установки ПГУ необходимы современные высокоточные геодезические приборы. Представлена внедренная в производство технологическая схема геодезических работ при монтаже турбоагрегатов при строительстве Няганской ГРЭС.

Ключевые слова: турбоагрегат, электронный тахеометр, точность, отражающая пластина

Abstract. Turbine unit installation is intended for the production of electricity. In recent years, Russia began to be widely used PGU. A distinctive feature of this equipment is a single-shaft arrangement, where the gas and steam turbines, as well as the general generator located on the same shaft. This arrangement requires the provision of equipment installation parts with an error of 0,05–0,10 mm. Therefore, for the installation of the basic units PGU, need modern high-precision surveying instruments. This paper presents and put into production flowsheet surveying the installation of turbine PSU – 1 in the construction Nyaganskaya TPP.

Keywords: turbine, total station, the accuracy, the reflecting plate

Для обеспечения монтажа турбоагрегата необходимо предварительно выполнить комплекс высокоточных инженерно-геодезических измерений:

выполнить монтаж фундамента турбоагрегата;

при необходимости восстановить и произвести сгущение плано-высотного обоснования в районе турбинного зала;

вынести основные продольные и поперечные оси турбоагрегата;

выполнить монтаж элементов турбоагрегата.

Основными частями турбоагрегата являются цилиндры, генераторы и роторы с подшипниками (линия валопровода) [1]. Установка этих элементов в плано-высотное положение требует обеспечения точности измерений порядка 0,05–0,10 мм. Монтаж турбоагрегата начинается поэтапно с проверки правильности выноса главных и вспомогательных осей на локальном участке [2–4]. Рассмотрим технологическую схему производства геодезических работ при монтаже основных частей турбоагрегата (рис. 1).

Подготовительные работы перед монтажом турбоагрегата. После возведения верхнего строения фундаментной плиты при-

ступают к проверке и соответствию проекту основных элементов фундамента. Для этого проверяются габариты фундамента, форма и глубина колодцев под фундаментные шпильки и их расположение по отношению к главным осям фундамента; допустимое отклонение не должно превышать $\pm 5,0$ мм [5]. Также проверяется пространственное положение всех закладных деталей, плано-высотное положение опор под рамы паровой турбины, генератора, газовой турбины, опор конденсатора и другое вспомогательное оборудование; допустимое отклонение не должно превышать $\pm 3,0$ мм относительно их проектных значений.

Для обеспечения требуемой точности необходимо использовать высокоточные геодезические приборы, обеспечивающие среднюю квадратическую ошибку измерения углов $2,0''$, расстояний — 1,5 мм с использованием отражателя, 2,0 мм с применением отражательных пленок (ОП) и превышений 0,3 мм.

При выполнении измерений тахеометр устанавливается в начале турбинного отделения на верхнюю фундаментную плиту и методом «свободной станции» определяются пространственные координаты точки стояния тахеометра. Место стояния должно быть выбрано таким образом, чтобы угол падения ви-

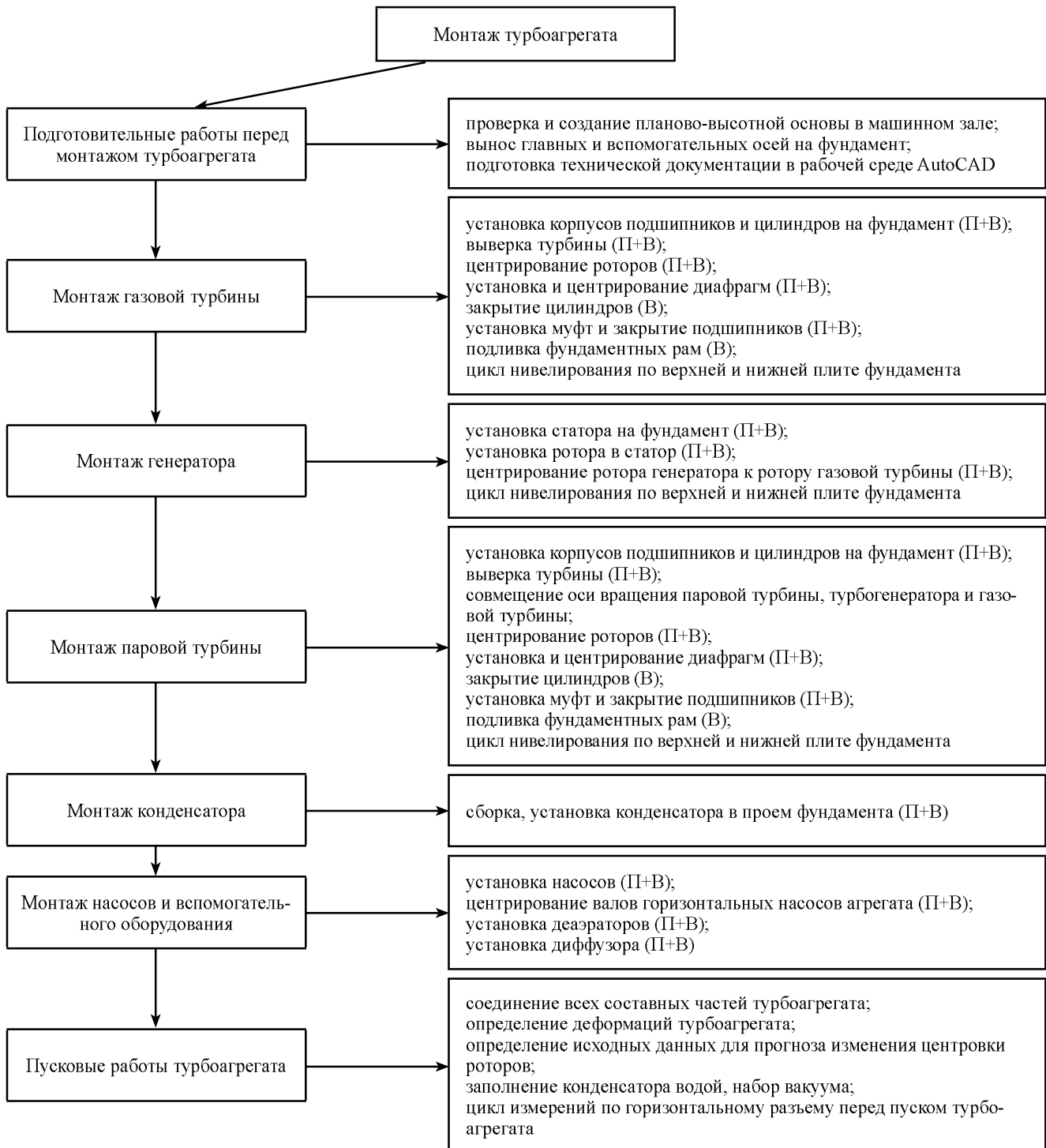


Рис. 1. Технологическая схема монтажа турбоагрегата

зирного луча от прибора до каждой ОП был меньше 40° . В этом случае имеется возможность выполнить линейные измерения с ошибкой не хуже 1–1,5 мм [6, 7]. Затем с помощью минипризмы производится съемка всех характерных точек фундамента турбоагрегата, а также основного и вспомогательного оборудо-

вания. В связи с тем, что с одной станции невозможно выполнить такую съемку, она производится с разных станций (рис. 2).

После проведения анализа полученных результатов съемки и сравнения их с проектными значениями принимается решение о переходе к монтажу турбоагрегата или исправлении от-

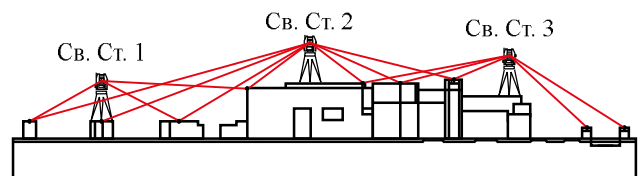


Рис. 2. Схема проверки фундамента турбоагрегата:
 Св. Ст. 1 — стояние прибора методом свободной станции;
 ● — характерная точка; / — линия визирования

клонений от проекта характерных конструктивных элементов фундамента.

Вынос главных осей. Для обеспечения монтажа турбоагрегата необходима развитая внутрицеховая плано-высотная геодезическая сеть. В связи с тем, что на этапе строительных работ ОП часто уничтожаются, то нами рекомендуется устанавливать их на каждой колонне, располагая друг над другом на различной высоте. Это способствует долговечности и сохранности плано-высотной сети. После анализа геодезического обоснования переходят к выносу главных и вспомогательных осей [2]. Главными осями турбоагрегата являются продольные оси роторов (линия валопровода) и поперечные оси опор подшипников.

Вынос главных осей осуществляется по координатам с помощью тахеометра на заранее установленные металлические пластины размером 50×50 мм. Чаще всего используют тонкие металлические пластины, позволяющие керном намечать характерные точки пересечения главных осей. Важным фактором при выносе точек является правильность определения проектных координат пересечения проектных осей. Для этого используется про-

граммный продукт AutoCAD. В программном продукте AutoCAD по проектным расстояниям от пересечения главных осей здания определяются координаты пересечений (рис. 3).

При выносе осей тахеометр ставится в начало турбинного отделения на фундаментную плиту и методом «свободной станции» определяются пространственные координаты станции. Затем производится вынос главных осей на металлические пластины. В качестве визирной цели можно использовать минипризму, установленную на минимальной высоте 100 мм, или ОП, которая предварительно наклеивается на металлический брусок, дно которого отшлифовано и не имеет зазоров при соприкосновении с ровной поверхностью. При наведении зрительной трубы визирный луч опускается в самый низ перекрестия ОП, в место прилегания ОП и металлической пластины, после чего производится кернение полученной точки. Аналогичным образом происходит вынос следующей характерной точки. Для контроля выноса точек измерения выполняются повторно; разность между накерненными точками не должна превышать в плановом положении ±2 мм.

После выноса в натуру главных осей перед монтажом проводится цикл высокоточного геометрического нивелирования. Нивелирный ход прокладывается по нижнему и верхнему строению фундамента турбоагрегата. Перед началом измерений обязательно замеряется температура в районе фундамента. Замеры температуры необходимы для предварительного выявления тепловых деформаций фун-

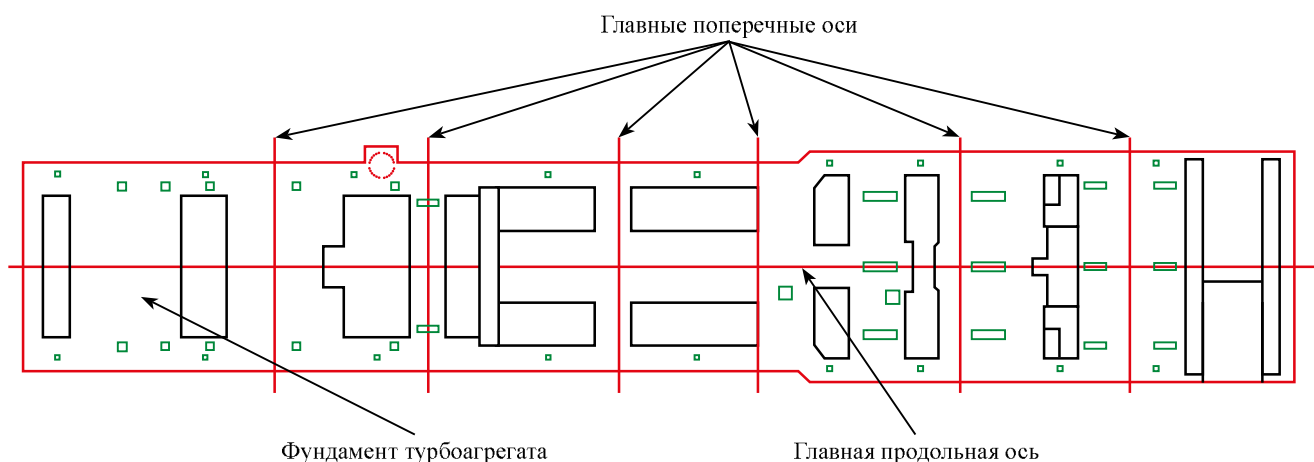


Рис. 3. Главные оси фундамента турбоагрегата

дамента. Этот цикл измерений осадок и деформаций является первым, и он принимается за исходный при использовании полученных результатов во время проведения центровки роторов. Относительно первого цикла будет определяться динамика фундамента в зависимости от нагружения ее частями турбоагрегата. После выполнения первого цикла нивелирования переходят к монтажу турбоагрегата.

Монтаж турбоагрегата. Монтаж турбоагрегата начинают с установки цилиндров газовой турбины на фундаментные рамы. Фундаментные рамы — это полые конструкции, литые из чугуна, с обработанными поверхностями, забетонированные в верхний пояс фундамента. Для установки цилиндров турбины в проектное положение используется высокоточный тахеометр. После установки его в непосредственной близости от монтажа методом «свободной станции» определяются координаты тахеометра. Затем путем совмещения центрировочных рисков, замаркированных на корпусе цилиндров, с главными осями турбоагрегата предварительно устанавливают их на фундаментную раму. После этого визирный луч тахеометра наводится на центрировочные риски и тем самым определяется их пространственное положение, которое затем сравнивается с полученными координатами центрировочных рисков и проектных координат главных осей; расхождение не должно превышать $\pm 2,0$ мм. Если расхождение будет больше, то совмещение производят заново.

До установки рам на подготовленные места укладывают гидравлические домкраты, с помощью которых производится установка рам по высоте. Как и при установке цилиндров, производится совмещение проектных рисков с главными осями; расхождение значений не должно превышать ± 5 мм в плано-высотном положении. Затем фундаментные шпильки устанавливаются в колодцы и путем поднятия или опускания домкратов производятся выверки рам. Проектное высотное положение проверяется с помощью электронного или оптического высокоточного нивелира с точностью 0,3 мм. После этого с помощью тахеометра производится установка корпусов подшипников и цилиндров в плановое положение на фундамент. Затем переходят к выверке турбины.

Выверка турбины осуществляется несколькими способами, например, способом выверки установки турбины по реакциям опор с применением динамометров или с применением оптических приборов. В основном в настоящее время применяют комбинированный способ, при котором используют и динамометры, и оптические приборы.

После выверки турбины производят второй цикл нивелирования. Это необходимо для выдачи рекомендаций о проведении центрировки роторов, так как деформация фундамента значительна и она влияет на значения центровок роторов. Началом относительной стабилизации можно считать момент, когда величины деформаций не будут влиять на значения центровок. После этого приступают к проверке роторов и центрированию их по контрольным расточкам и полумуфтам [1].

Взаимное положение роторов и цилиндров высокого и среднего давления исправляют путем перемещения цилиндров относительно роторов в необходимом направлении. Для этого оба центрируемых ротора устанавливают в нулевое положение. Перед началом замеров между торцами полумуфт роторов устанавливается зазор около 1 мм. Такой же зазор должен быть между фланцем полумуфты и скобой. При проверке центрирования роторов выполняются только торцевые замеры, так как в радиальном направлении полумуфты достаточно точно центрируются по расточкам. Допуск на смещение осей при наличии жесткой муфты не должен превышать 0,01 мм (при разности замеров по окружности 0,02 мм), допуск на торцевую расцентровку — 0,03 мм.

После центрирования роторов идет установка и центрирование диафрагм. Данный вид работ заключается в проверке их положения по отношению к ротору турбины после центрирования роторов.

После этого по окончании проверочных и пригоночных работ цилиндры закрывают. Затем идет сборка подшипников и их закрытие. Далее выполняется третий цикл нивелирования.

После закрытия подшипников строительная организация производит подливку фундаментных рам. Высота раствора бетона определяется с помощью тахеометра.

Затем переходят к монтажу генератора. Конструкция турбоагрегата имеет одновальную компоновку. В этом случае паровая и газовая турбины находятся на одном валу и тогда используется один генератор (рис. 4).

Генератор расположен между двумя турбинами по ходу движения пара. Во время монтажа его ротор центрируют с ротором паровой турбины и ротором газовой турбины, а статор располагают концентрично относительно его ротора. Статор устанавливается в осевом направлении и его положение проверяется тахеометром, относительно поперечной оси заднего подшипника турбины. Точность установки статора 1–2 мм. В поперечном направлении положение статора проверяют тахеометром, для чего измеряются расстояния от главной поперечной оси турбоагрегата до расточки статора справа и слева. Разность измеренных расстояний не должна быть больше ± 2 мм. После этого монтажная организация производит работы по установке ротора в статор. Затем проводится четвертый цикл нивелирования.

После установки генератора переходят к установке паровой турбины в плано-высотное положение. Технология выполнения геодезических работ аналогична работам при монтаже газовой турбины. После установки газовой турбины выполняются пятый и шестой циклы нивелирования.

Затем переходят к монтажу конденсатора. Конденсатор устанавливается с помощью пружинной опоры на фундаментные рамы. Для установки конденсатора в проектное положение используются тахеометр и метод «свободной станции». Отклонение плано-высотного положения конденсатора от проектного значения не должно превышать $\pm 2,0$ мм. Также с помощью тахеометра проверяется вертикаль-



Рис. 4. Схема одновальной компоновки оборудования

ность опорных пружин, для чего с помощью функции «горизонтальное проложение» визирный луч наводится поочередно на верх опоры, а затем — на низ опоры: расхождение значений не должно превышать ± 2 мм.

После установки конденсатора в проектное положение к нему присоединяются выхлопные патрубки турбины. На внутренней стороне патрубка имеются риски, соответствующие продольной и поперечной осям конденсатора. Затем производится их совмещение; расхождение значений не должно превышать ± 3 мм. Перед следующим этапом выполняют седьмой цикл высокоточного геометрического нивелирования. После анализа измерений данные заносятся в каталог, и проверяется динамика изменения высотного положения фундаментным плитам.

Следующий этап — установка насосов и вспомогательного оборудования (диффузора и деаэрата). Все элементы устанавливаются с помощью тахеометра, методом «свободной станции» по методике, описанной ранее. После этого выполняется восьмой цикл нивелирования по верхней и нижней фундаментной плите. На основании полученных данных строится график деформаций плиты турбоагрегата. Перед пуском производится набор вакуума и веса воды и за сутки до пуска турбины выполняется девятый цикл нивелирования. После выдачи рекомендаций по осадке и деформации фундаментной плиты от всех нагруженных элементов турбоагрегата монтажная организация совместно с наладчиками приступают к пусковым работам. Рекомендуемое число циклов нивелирования и их последовательность приведены в таблице.

Необходимо отметить, что приведенная последовательность циклов измерений основывается на требованиях завода-изготовителя и заказчика, а также на результатах большого объема измерений, выполненных на Няганской ГРЭС.

Важной задачей при монтаже «турбоагрегат – фундамент – основание» (ТФО) является обеспечение своевременного анализа его деформаций. Для объективного суждения о величинах деформаций необходимо выполнить определенное количество циклов нивелирования (см. табл.). В результате такого анали-

Рекомендуемое число и последовательность циклов измерений при монтаже фундамента турбоагрегата ПГУ

Этапы строительства фундамента	Рекомендуемое число циклов измерений и их последовательность
1. Монтаж и окончание заливки нижней плиты	Один цикл измерений в месяц, до наступления второго этапа строительства фундамента
2. Монтаж верхнего строения фундамента	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
3. Окончание монтажа верхнего строения фундамента	Один цикл измерений в месяц, по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
4. Установка газовой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
5. Укладка и центровка роторов газовой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
6. Установка генератора	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
7. Установка паровой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
8. Укладка и центровка роторов паровой турбины	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
9. Установка конденсатора, диффузора, деаэрата насосов и вспомогательного оборудования	Один цикл измерений в месяц, в течение всего периода монтажа
10. Окончательная центровка роторов и проточной части	Один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
11. Набор вакуума и веса воды	Один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента
12. Пуск турбоагрегата 72 ч	За сутки до пуско-наладочных работ один цикл измерений по осадочным маркам нижнего и верхнего строения фундамента

за при монтаже первого пускового комплекса ПГУ выявлены незначительные деформации нижней фундаментной плиты в центральной ее части, произошедшие после монтажа всех основных узлов турбоагрегата. Величина прогиба плиты в районе генератора (относительно марок, расположенных в ее начале и конце) составляла 1,8–2,2 мм (рис. 5).

На основании сказанного можно сделать следующие выводы:

разработана и внедрена в производство технологическая схема геодезических работ при монтаже турбоагрегата;

доказана эффективность применение способа «свободной станции» при выполнении высокоточных работ по установке всех элементов турбоагрегата;

для обеспечения центрирования роторов необходима информация о деформационном состоянии системы ТФО.

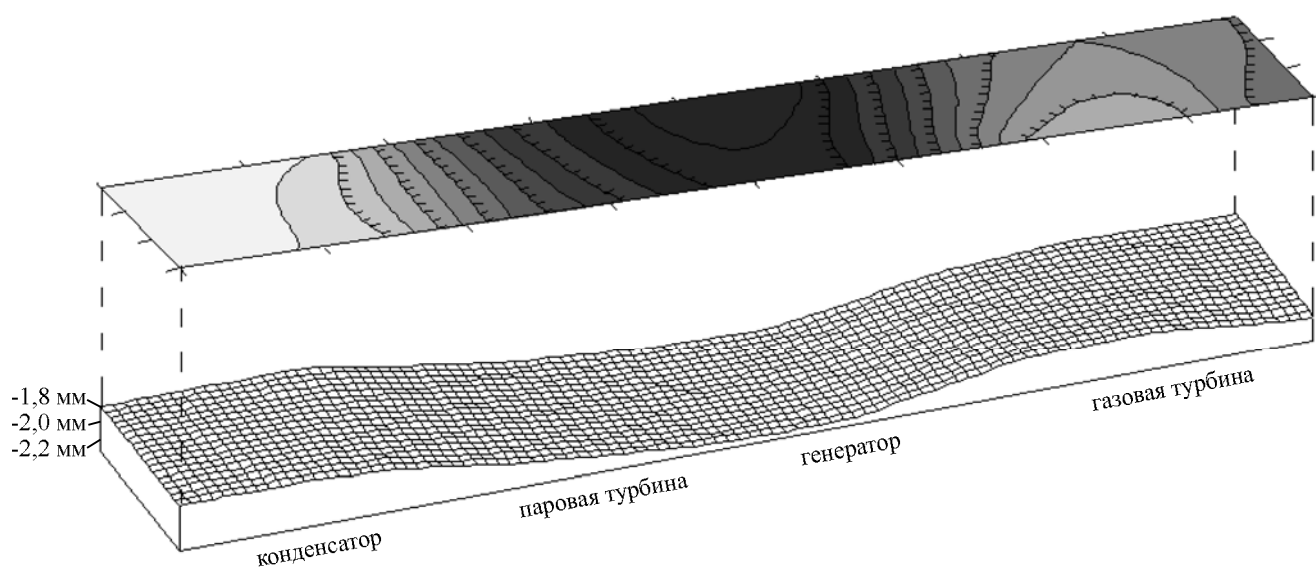


Рис. 5. 3D-модель деформации фундаментной плиты после завершения монтажа турбоагрегата

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абалаков Б.В., Резников Б.И.* Монтаж турбоагрегатов и синхронных компенсаторов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1983. – 296 с., ил.

2. *Сальников В.Г.* Технология геодезических работ при строительстве фундамента турбоагрегата мощностью 420 МВт / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15-26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГТА, 2013. Т. 1. – С. 18–24.

3. *Сальников В.Г.* Геодезические работы при возведении градирен большой высоты / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10-20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГТА, 2012. Т. 1. – С. 72–77.

4. *Сальников В.Г.* Современная методика выноса главных осей турбоагрегата // Вестник СГТА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 27–33.

5. *Несущие и ограждающие конструкции:* СНиП 3.03.01-87. – М.: Госстрой СССР, 1987. – 90 с.

6. *Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций* / Г.Г. Китаев и др. / Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГТА, 2014. Т. 1. – С. 7–13.

7. *Уставич Г.А.* и др. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2013. – № 6. – С. 8–13.

Принята к печати 16 июня 2014 г.

Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела СГТА

СХЕМА ПОЛЕВОГО ВЫСОТНОГО СТЕНДА ДЛЯ ПОВЕРКИ СИСТЕМЫ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР – ШТРИХ-КОДОВЫЕ РЕЙКИ»

Профессор, доктор техн. наук **Г.А. Уставич**, аспирант **В.Г. Сальников**, кандидат техн. наук **Н.М. Рябова**

*Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск
salnikov_valera@mail.ru; ryabovanadezhda@mail.ru*

Аннотация. При транспортировке и дальнейшей эксплуатации геодезических приборов довольно часто возникают случайные механические удары. В связи с этим появляется необходимость в проведении внеочередной метрологической поверки. Рассмотрены поверяемые характеристики цифровых нивелиров в условиях промплощадки. Представлены схемы полевых высотных стендов, позволяющие проводить внеплановую метрологическую поверку цифровых нивелиров в условиях положительных и отрицательных температур, а также проверить работоспособность этих нивелиров в полевых условиях. **Ключевые слова:** метрологическая поверка цифровых нивелиров, полевой высотный стенд, микрометрический винт

Abstract. During transport and further exploitation of geodetic instruments often arise random mechanical shocks. In this regard, there is a need for extraordinary metrological verification devices. The article describes the main characteristics of verifiable leveling in a production site. The schemes of the field of tall stands that allow for unscheduled metrological verification of geodetic instruments in terms of positive and negative temperatures, as well as mobile test the precision and technical leveling in the field.

Keywords: metrological certification of digital level, the field of tall stands, micrometry screw

Для определения технических характеристик и работоспособности системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки» необходимо периодически проводить ее поверку. Эта поверка осуществляется в специализированной метрологической лаборатории с применением горизонтального или вертикального компараторов [1]. В настоящее время в России такие специализированные метрологические лаборатории по проведению вышеуказанных исследований имеются только в нескольких организациях. Для организаций из удаленных районов России такая ежегодная метрологическая поверка является дорогостоящим мероприятием. Необходимо отметить, что при выполнении

нивелирования или при транспортировке цифрового нивелира могут иметь место случайные механические воздействия, приводящие к нарушению юстировки его электронной системы. В таких случаях необходимо выполнить внеочередную технологическую поверку системы «цифровой нивелир – штрих-кодовые рейки». Кроме того, метрологическая поверка в лабораторных условиях производится при температуре, близкой к 20°C, и при благоприятных внешних условиях. Вместе с тем, в производственных условиях нивелирование часто выполняется при минусовых температурах, а также в условиях влияния вибрации (на промплощадке). В связи с этим возникает необходи-